УДК 621.313.333.017 ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 14.01.2009

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В.В. Гурин, канд. техн. наук, доцент, П.А. Равинский, аспирант (УО БГАТУ)

Аннотация

В статье указаны преимущества и недостатки температурных защит, проанализированы пути совершенствования и определена требуемая постоянная времени нагревания термодетекторов из условия защиты обмоток электродвигателей в стопорном режиме с горячего состояния.

Введение

Эксплуатационная надежность асинхронных электродвигателей в сельскохозяйственном производстве республики Беларусь остается низкой. Одной из причин этого является отсутствие в хозяйствах комплексных универсальных защит электродвигателей. До сих пор основным аппаратом защиты электродвигателей является электротепловое токовое реле. Их широкое применение объясняется не тем, что они лучше других устройств, а тем, что они дешевле комплексных универсальных защит и поставляются совместно с электромагнитными пускателями. Недостатки электротепловых токовых реле известны. Это недостаточная стабильность характеристик во времени, разброс параметров срабатывания даже новых реле, недостаточная коррозионная стойкость, недостаточная устойчивость к токам КЗ, неудовлетворительная надежность отключения в стопорном режиме двигателя [1, с. 19], малый диапазон регулирования уставки реле по току, что требует наличия в хозяйствах большого числа типоразмеров электротепловых реле. Например, для электродвигателей до 4 кВт требуется 17 типоразмеров реле РТТ-1, а до 30 кВт – 27 типоразмеров. Если же использовать комплексные универсальные токовые устройства защиты, то их требуется 2-3 типоразмера, а температурной защиты – 1 типоразмер для всех электродвигателей. Вот почему мы обращаемся сегодня к температурным защитам, чтобы выявить их недостатки, показать пути их совершенствования и, в конце концов, разработать новое поколение температурных защит.

Основная часть

Опыт эксплуатации устройств встроенной температурной защиты (УВТЗ**)** в сельском хозяйстве выявил их недостатки:

1) запаздывание срабатывания УВТЗ в стопорном аварийном режиме в связи с большой постоянной времени нагревания позисторов [2, с. 42];

2) в проводах подключения позисторов наводится паразитная ЭДС, что приводит к ложным срабатываниям защиты [3, с. 20];

3) для подключения УВТЗ необходимы дополнительные монтажные работы, связанные с прокладкой двух проводов от термодетекторов к устройству защиты. По этой причине температурные защиты во многих хозяйствах не используются [4, с. 42];

4) устройство не имеет регулировки температуры срабатывания, поэтому всегда при перегрузке отключает электродвигатель при температурах, выше допустимых. Допустимая температура нагревания обмотки при номинальном токе имеет место только при температуре окружающей среды +40 ºС. При меньших температурах окружающей среды и номинальном токе температура нагревания обмотки меньше допустимой на 20-30ºС, но и в этом случае, не имея регулировки температуры срабатывания, устройство все равно отключает обмотку при температурах выше допустимых, хотя имелась возможность отключить электродвигатель раньше, не перегревая изоляцию. Вот почему нужна автоматическая регулировка температуры срабатывания защиты, зависящая от окружающей температуры;

5) устройство не имеет предупредительной сигнализации, которая позволила бы оператору уменьшить нагрузку на валу электродвигателя и избежать его отключения.

Развитие температурных защит направлено на устранение отмеченных недостатков.

Первое направление совершенствования температурной защиты связано с устранением запаздывания срабатывания в стопорном режиме. Оно реализуется следующими путями:

а) использованием термодетекторов с достаточно малой постоянной времени нагревания, при которых устройство защиты успевает срабатывать в стопорном режиме. Авторы предлагают использовать для этого термопары [5, с. 28-32];

б) контролем не только температуры обмотки, но и скорости изменения температуры, при этом обеспечивается упреждающее отключение защиты. Этими исследованиями занимался К.А. Шаповал в НИПТИМЭСХ Северо-Запада в 60-х годах;

в) подогревом, например, позистора при перегрузке током, пропорциональным току электродвигателя, отчего происходит ускоренное срабатывание защиты [6, с. 3-12], [7].

Второе направление совершенствования связано с устранением ЭДС, наводимой в проводах связи

от термодетекторов к блоку температурной защиты. Известны пути устранения этого недостатка:

а) прокладка "витой пары" или двух проводов, отделенных от проводов силовой сети [4, с. 43];

б) блок температурной защиты встраивать в коробку выводов, а к электромагнитному пускателю тянуть два провода совместно с проводами силовой сети [8, с. 5].

Авторы предлагают не прокладывать провода от термодетектора к устройству защиты, а использовать беспроводные средства связи или организовать передачу сигналов по проводам силовой сети. В этом направлении требуются дальнейшие научные исследования.

Третье направление совершенствования температурной защиты связано с устройством: 1) регулировки температуры срабатывания; 2) предупредительной сигнализации; 3) автоматического изменения уставки срабатывания от температуры окружающего воздуха. Это направление не могло быть реализовано в устройствах УВТЗ, имеющих термодетекторы (позисторы) с релейной характеристикой. Оно требует дальнейших научных исследований.

Четвертое направление совершенствования температурных защит связано с приданием температурной защите дополнительных функций предпускового контроля электрической сети и сопротивления изоляции обмоток двигателя. Включение любого электродвигателя в сеть должно производиться только после контроля наличия всех фаз сети, правильности чередования фаз, а также при исправной изоляции обмоток. Следовательно, устройство температурной защиты должно иметь дополнительные блоки, контролирующие эти параметры.

Таким образом, устройство температурной защиты нового поколения должно быть комплексным (контролировать температуру обмотки, температуру окружающей среды, наличие напряжений трех фаз и сопротивление обмотки перед пуском двигателя). Для повышения электробезопасности эксплуатации двигателя оно может быть снабжено блоком контроля тока утечки. Такое комплексное устройство температурной защиты рационально строить на цифровой обработке сигналов и поэтому оно должно быть микропроцессорным.

С какими термодетекторами должна быть температурная защита нового поколения? Для ответа на этот вопрос мы должны сначала выяснить, какую постоянную времени нагрева должны иметь термодетекторы для температурных защит. Авторами предлагается следующая методика определения требуемой постоянной времени нагрева термодетекторов для температурных защит.

Примем начальными условиями наихудший вариант нагрева обмотки: 1) температура окружающего воздуха $\Theta_{окр.ср}$ = +40 ºС; 2) обмотка обтекается номинальным током, и, следовательно, в установившемся режиме нагрев изоляции достиг номинального значения $\Theta_{ном}$, которое равно допустимому среднему значению $\Theta_{доп.ср.}$ из табл. 1 в зависимости от класса нагревостойкости изоляции; 3) произошло заклинивание рабочей машины и электродвигатель, включенный в сеть, оказался в режиме заторможенного ротора (в стопорном режиме).

Таблица 1.

Значения допустимых температур нагрева изоляции электродвигателей [9]

Тепловой режим	Температура	Значения температуры (ºС), для классов нагревостойкости	
		B	F
Установившийся	Предельно допустимая (максимальное значение) $\Theta_{доп. макс.}$	130	155
	Предельно допустимая (среднее значение, определяемое методом сопротивления) $\Theta_{доп. ср.}$	120	140

Нагрев обмотки в режиме заторможенного ротора происходит по линейной зависимости [2, с. 40]. Можно записать

$$\Theta = \Theta_{ном} + \vartheta_{\theta} \cdot t , \quad (1)$$

где $\Theta_{ном}$ - номинальная температура обмотки в установившемся номинальном режиме нагрузки, ºС. При $\Theta_{окр.ср}$ =40 ºС имеем:

$\Theta_{ном} = \Theta_{доп.ср.}$ (табл. 1);

ϑ_{θ} – скорость роста температуры, ºС/с;

t – время, с.

Примем конечной температурой нагрева обмотки в этом режиме за допустимое время нагрева $t_{доп}$ температуру $\Theta_{доп.стоп}$ из табл. 2 для соответствующего класса нагревостойкости обмотки. Тогда допустимое время нагрева определяется выражением

$$t_{доп} = \frac{\Theta_{доп.стоп} - \Theta_{доп.ср.}}{\vartheta_{\theta}} \quad (2)$$

Таблица 2.

Температура обмотки при срабатывании температурной защиты

Режим	Обозначение температуры	Температура обмотки, ºС при срабатывании защит для классов нагревостойкости	
		B	F
Стопорный	$\Theta_{доп. стоп.}$	200	225
Перегрузки	$\Theta_{доп. пер.}$	145	170

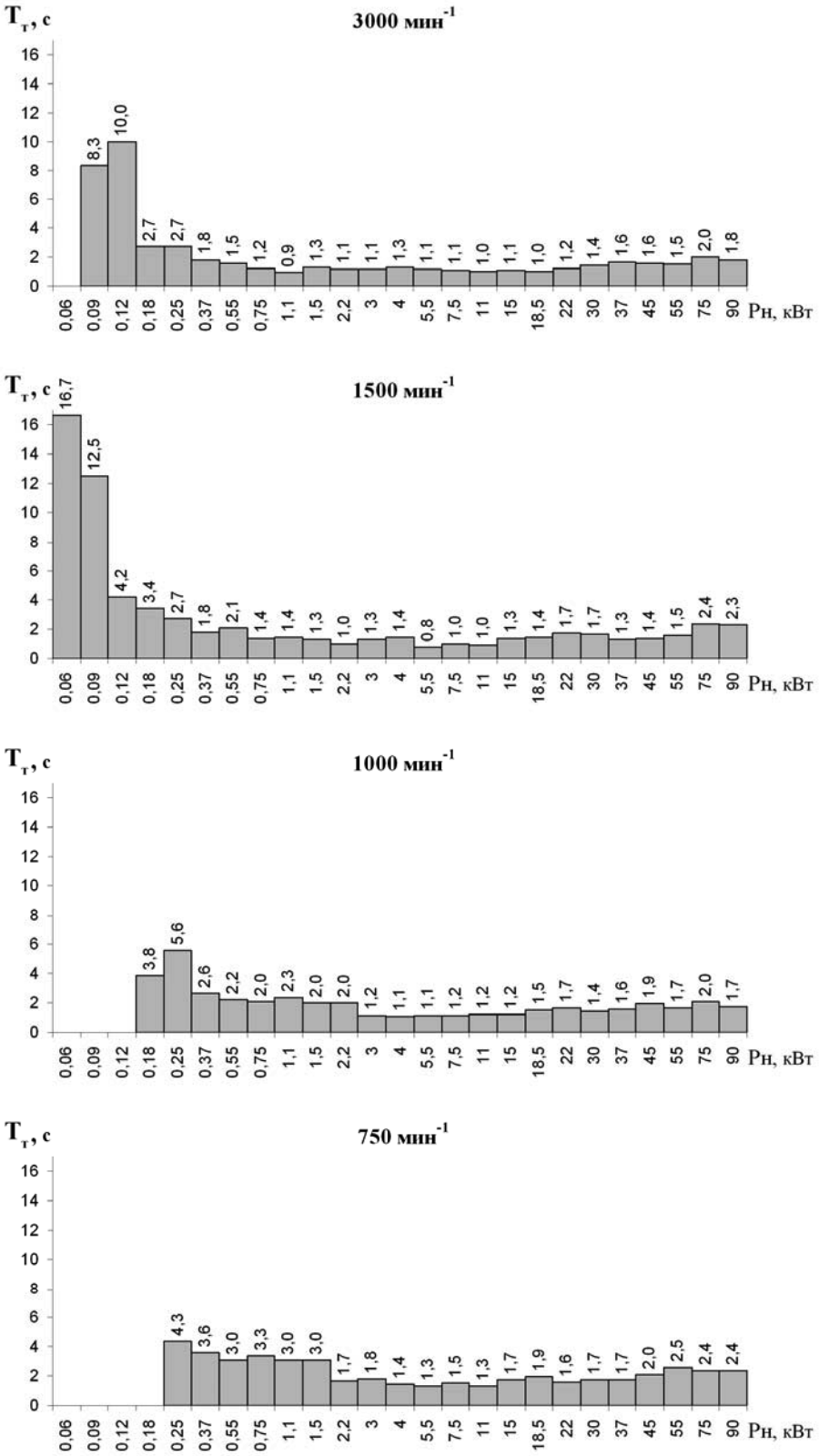

Рисунок 1. Требуемая постоянная времени нагрева термодетекторов в устройствах температурной защиты для различных по номинальной мощности электродвигателей и различной синхронной частоте вращения

Температура термодетктора Θ_T будет расти в начальный момент по экспоненте, а после времени *t*, равном четырем постоянным времени связи, т. е. $t = 4T_C$ – прямолинейно, с постоянным отставанием на одинаковую величину от температуры обмотки [2, с. 39]

$$\Theta_{доп.стоп} - \Theta_T = \vartheta_\theta 4T_C, \quad (3)$$

где T_C – постоянная времени связи термодетектора с обмоткой, с;

Θ_T – температура термодетектора, ºС.

Из уравнения (3) следует, что чем меньше постоянная времени связи T_C термодетектора с обмоткой, тем ближе температура обмотки и термодетектора в момент срабатывания защиты. Наибольшая допустимая постоянная времени связи соответствует условию:

$$T_C \le \frac{t_{доп}}{4}. \quad (4)$$

Постоянная времени связи термодетектора с обмоткой пропорциональна постоянной времени нагрева термодетектора и зависит от теплового сопротивления между защищаемой обмоткой и термодететкором. Например, в [9, табл. 9.33, с. 348] приведены данные о том, что малогабаритные позисторы типа PTM-M-KOPORS фирмы Siemens имеют постоянную времени нагрева $T_T = 3$ с. Будучи заложенными в обмотку из эмалированных проводов круглого сечения диаметром около 1мм, они обеспечивали постоянную времени связи позисторов с обмоткой $T_C = 4 - 5$ с, а в обмотке с проводами прямоугольного сечения $T_C = 5 - 7$ с. Таким образом, в реальных условиях, с обмоткой, постоянная времени нагрева термодетектора должна быть примерно в 2 раза меньше постоянной времени связи термодетектора с обмоткой. При этих условиях постоянная времени нагрева термодетектора T_T должна составлять:

$$T_T = \frac{T_C}{2} \le \frac{t_{доп}}{8}. \quad (5)$$

По формуле (2) сначала определялось допустимое время нагрева в стопорном режиме, а потом по формуле (5) – постоянная времени нагрева термодетектора. Результаты расчетов постоянной времени нагрева термодетектора представлены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что при n_0 = 3000 *мин*$^{-1}$ требуемые наименьшие постоянные времени нагрева термодетекторов соответствуют диапазону мощностей 0,75…22 кВт, при n_0 = 1500 *мин*$^{-1}$ – в диапазоне мощностей 0,75…18 кВт, при n_0 = 1000 *мин*$^{-1}$ – 3…15 кВт, а при n_0 = 750 *мин*$^{-1}$ – 2,2…15 кВт. Именно эти электродвигатели средних и малых мощностей наиболее распространены в сельскохозяйственном производстве. Наименьшее значение постоянной времени нагрева термодетектора $T_T = 0,8$ с требуется для электродвигателя Рн=5,5 кВт при n_0 = 1500 *мин*$^{-1}$.

Заключение

Направления совершенствования температурных защит следующие:

1) использовать термодетекторы с постоянной времени нагрева менее 0,8 с, например, термопары;

2) отказаться от проводников связи термодетектора с блоком усиления, используя беспроводные средства связи или передачу сигналов по проводам силовой сети;

3) ввести в температурную защиту регулировку температуры срабатывания, предупредительную сигнализацию, автоматическое изменение уставки срабатывания от температуры окружающего воздуха;

4) дополнить температурную защиту блоками предпускового контроля наличия напряжения фаз сети, контроля сопротивления изоляции и контроля тока утечки;

5) строить комплексную температурную защиту на базе микропроцессора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грундулис, А.О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве / О.А. Грундулис. – Москва: Колос, 1982. – 104с.

2. Тубис, Я.Б. Температурная защита асинхронных двигателей в сельско-хозяйственном производстве / Я.Б. Тубис, Г.К. Белов. – Москва: Энергия, 1977 – 104с.

3. Данилов, В.Н. О паразитных ЭДС в проводах подключения термодатчиков к температурной защите электродвигателей / В.Н. Данилов, С.В. Оськин // Повышение надежности работы электроустановок в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. – Челябинск. – 1986. – С. 19-24.

4. Кунин, Р.З. Применение встроенной температурной защиты / Р.З. Кунин // Механизация и электрификация соц. с. хо-ва. – 1980. – №10. –С. 42-43.

5. Гурин, В.В. Быстродействующая температурная защита асинхронного электродвигателя / В.В. Гурин, Е.В. Лавцевич, П.А. Равинский // Агропанорама. – №2. – 2008. – С. 28-32.

6. Сыч, И.П. Направления совершенствования тепловой защиты электродвигателей / И.П. Сыч // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – №12. – С. 3-12.

7. Устройство для тепловой защиты трехфазного электродвигателя: а.с. 1408490 СССР, МКИ Н 02 Н 5/04 / А.А. Гелейша, В.В. Гурин; БИМСХ. – №4207653; заявл. 10.03.87; опубл. 07.07.88 // Открытия. Изобрет. – 1998. – №25. – С.28.

8. Данилов, В.Н. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей в сельскохозяйственном производстве электронными средствами защиты: автореф. … дис. докт. тех. наук: 05.20.02 / В.Н. Данилов. – Челябинск. – 1991. – 36с.

9. Унифицированная серия асинхронных электродвигателей Итерэлектро / В.И. Радин и [др.]; под ред. В.И. Радина. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 416с.